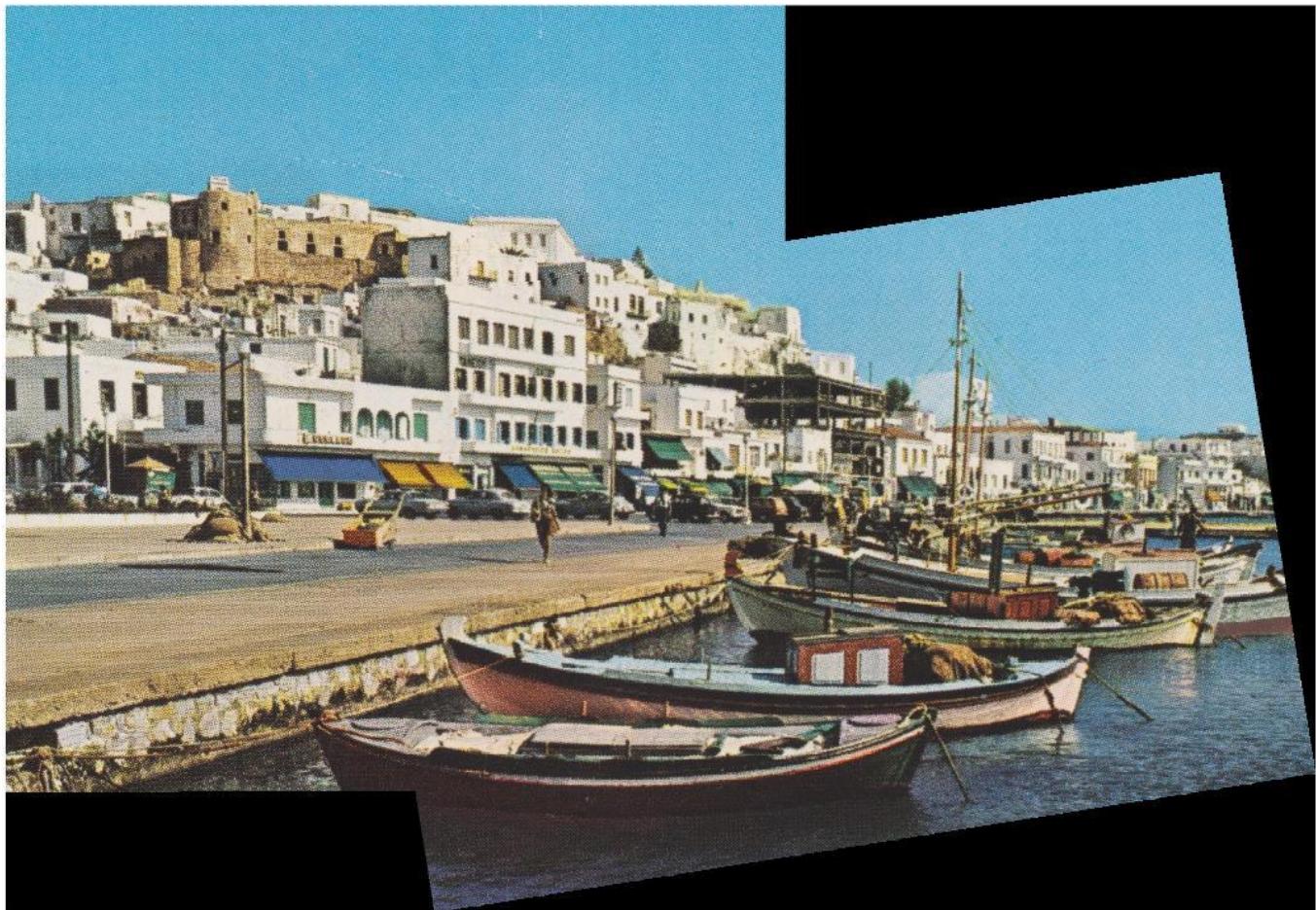


1^η Εργασία

Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας

Salient Point-Image Stitching

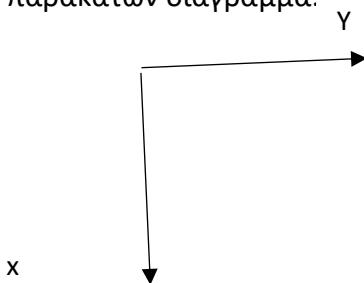


Ασημακίδης Σταμάτιος 9711

Email: asimakid@ece.auth.gr

1^ο Ζητούμενο Εργασίας

Στο συγκεκριμένο ερώτημα ζητείται η δημιουργία συνάρτησης η οποία περιστρέφει μια εικόνα που δέχεται σαν είσοδο περιστραμένη κατά μια γωνία που της δίνεται σαν όρισμα. Όπως ορίζεται από την εκφώνηση η νέα είκονα θα πρέπει να έχει διαστάσεις τέτοιες ώστε να χωράει πλήρως την περιστραμένη εικόνα, ενώ το background της θα πρέπει να είναι μαύρο. Στα πλαίσια αυτού του ζήτουμενου ορίζεται το παρακάτω σύστημα συντεταγμένων, όπως φαίνεται στο παράκατω διάγραμμα.



Το συγκεκρίμενο είναι διαφοροποιημένο σε σχέση με το σύνηθες σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων και επιλέχθηκε το συγκεκριμένο λόγω του τρόπου αναπάραστασης των εικόνων στο matlab σε πολυδιαστατους πίνακες (ή 2διάστατους για grayscale).

Αρχικά είναι γνωστό οτι μια περιστροφή κατά μια γωνία θ στο καρτεσιανό επίπεδο (γύρω από τον άξονα z) περιγράφεται από τον παρακάτω γραμμικό μετασχηματισμό.

$$R = \begin{bmatrix} \cos (\theta) & -\sin (\theta) \\ \sin (\theta) & \cos (\theta) \end{bmatrix}$$

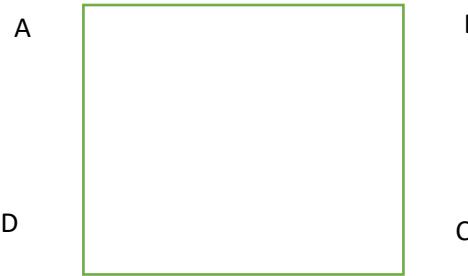
Η εφαρμογή αυτού στις συντεταγμένες των σημείων της εικόνας μας δίνει τις νέες συντεταγμένες των σημείων μετα απο περιστροφή. Ωστόσο στο συγκεκριμένο πρόβλημα θα πρέπει να ακολουθήσει ενας επιπλέον μετασχηματισμός μεταφοράς που θα εξασφαλίσει οτι όλα τα νέα σημεία της εικόνας θα βρίσκονται στα θετικά x και y (για λόγους αναπαράστασης εικόνας σε πίνακα στο matlab).

Επομένως ορίζεται

$$x_{final} = x_{afterRotation} + tx$$

$$y_{final} = y_{afterRotation} + ty$$

Και ζήτείται ο υπολογισμός των tx,ty που θα εξασφαλίσουν ότι όλη η περιστραμένη εικόνα βρίσκεται στο τεταρτημόριο για θετικά x και y. Για τον σκοπό αυτό αρκεί να βρούμε τις νέες συντεταγμένες των άκρων και να εξασφαλίσουμε οτι αυτές θα βρισκόνται μετα την εφαρμογή της μετατόπισης στα άκρα της εικόνας. Κατόπιν θεωρητικής ανάλυσης, η οποία για λόγους συντομίας παραλείπεται προέκυψε οτι όνομαζοντας τις κορυφές όπως στο παρακάτω σχήμα.



και συμβολίζοντας ως (X', Y') τις συντεταγμένες σε **απόλυτη τιμή** των ακρών μετα την εφαρμογή του μετασχηματισμού περιστροφής προκύπτει το παρακάτω

$$tx = \begin{cases} x'B & 0 \leq \theta < 90 \\ x'C & 90 \leq \theta < 180 \\ x'D & 180 \leq \theta < 270 \\ 0 & 270 \leq \theta < 360 \end{cases}$$

$$ty = \begin{cases} 0 & 0 \leq \theta < 90 \\ x'B & 90 \leq \theta < 180 \\ x'C & 180 \leq \theta < 270 \\ x'D & 270 \leq \theta < 360 \end{cases}$$

Επίσης στα πλαίσια της παραπάνω ανάλυσης προέκυψε οτι η διάσταση της νέας εικόνας για να χωρέσει πλήρως την περιστραμένη θα πρέπει να ειναι

$$newRows = \begin{cases} x'B + x'D & 0 \leq \theta < 90 \\ x'C & 90 \leq \theta < 180 \\ x'B + x'D & 180 \leq \theta < 270 \\ x'C & 270 \leq \theta < 360 \end{cases}$$

$$newCols = \begin{cases} x'C & 0 \leq \theta < 90 \\ x'B + x'D & 90 \leq \theta < 180 \\ x'C & 180 \leq \theta < 270 \\ x'B + x'D & 270 \leq \theta < 360 \end{cases}$$

Πλέον έχει προσδιοριστεί πλήρως ο μετασχηματισμός που οδηγεί στην νέα εικόνα καθώς και οι διαστάσεις αυτής. Για την δημιουργία της νέας εικόνας θα ακολουθηθεί η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή για την εικόνα με διαστάσεις newRows και newCols θα υπολογίστει για κάθε θέση της η τιμή του χρώματος της με χρήση του αντίστροφου μετασχηματισμού και εφόσον το συγκεκριμένο πίξελ αντιστοιχούσε στην αρχική εικόνα θα υπολογιστεί η τιμή που θα του αποδωθεί με χρήση bilinear interpolation με τους γείτουνες του (στην αρχική εικόνα). Εξαίρεση θα αποτελέσουν τα πίξελ στο περίγραμμα της αρχικής εικόνας που θα αντιστοιχηθεί άμεσα η τιμή τους (για λόγους απλότητας). Εφόσον ενα πίξελ δεν ανήκε στην αρχική εικόνα θα του αποδίδεται η τιμή του μαύρου χρώματος.

Περιγραφή της συνάρτηση myImgRotation

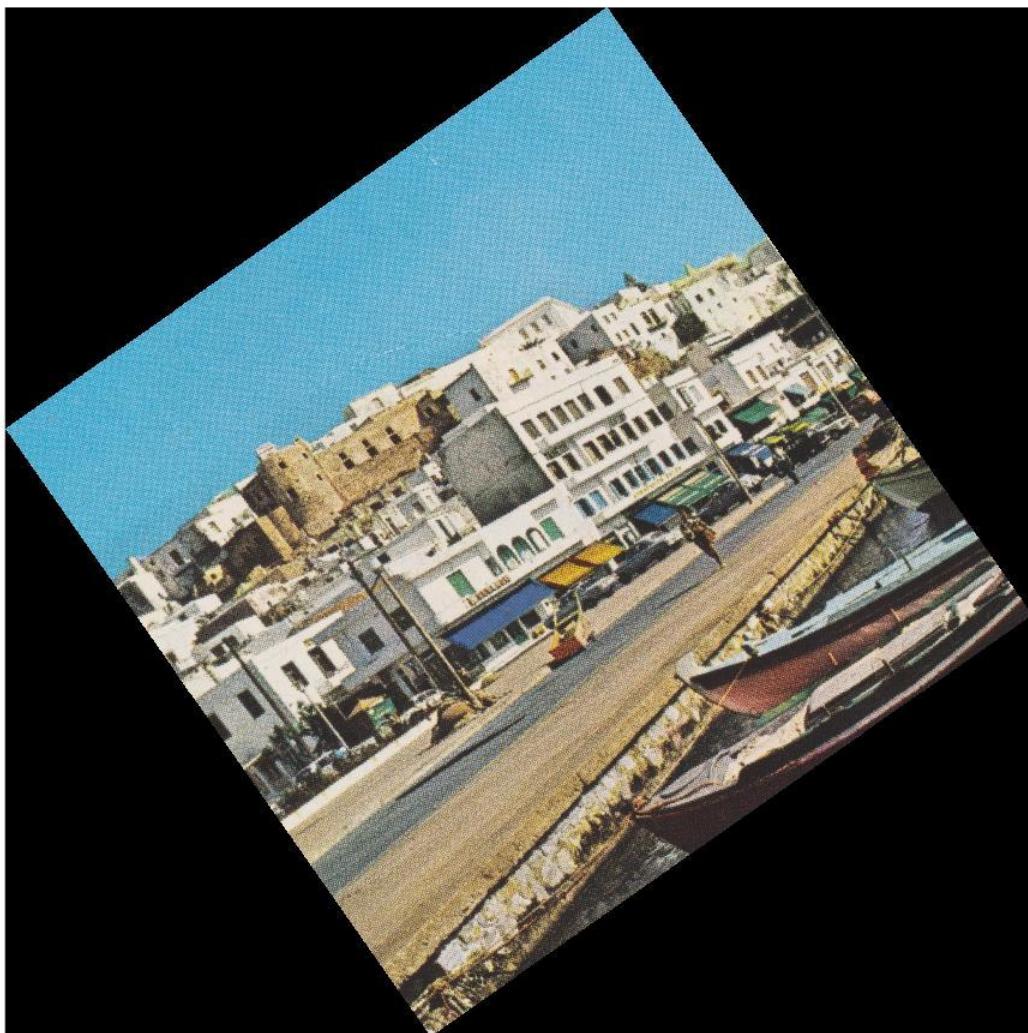
Αρχικά η γωνία εισόδου(που μπόρει να λάμβανε οποιεσδήποτε τιμές) αντιστοιχίζεται στην αντίστοιχη γωνία στο διάστημα [0,360]. Ελέγχεται στην συνέχεια αν η εικόνα ειναι έγχρωμη ή grayscale (μεταβλητή $rgb=1$ σημαίνει ασπρόμαυρη) και λαμβάνονται οι διαστάσεις της. Στην συνέχεια ορίζονται οι συντεταγμένες των σημείων των άκρων της (ξεκινώντας από το 0 εως $rows/cols -1$, καθώς η διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως αφορά τις θεσεις των σημείων σε καρτεσιανό σύστημα και οχι σε θέσεις πίνακα matlab που ακολουθουν starting index=1), καθώς επίσης και ο πίνακας στροφής, η απολύτη τιμή των συντεταγμένων των άκρων της αρχικής εικόνας μετά την περιστροφή και τέλος οι διαστάσεις της νέας εικόνας και τα tx,ty με την διαδικασία που περιφράφηκε προηγουμένως. Υπολογίζονται στην συνέχεια ο αντίστροφος του πίνακα στροφής, ορίζεται ο πίνακας για το interpolation. Ακολουθεί η διπλή for για να καθοριστεί η τιμή του κάθε πίξελ, στην οποία για τα εσωτερικά σημεία λαμβάνονται τα γειτονικά πίξελ της αρχική εικόνας και αποθηκευονται στην tempimage, η οποία πολλαπλασιάζεται σημειο-σημειο με τον πίνακα για το interpolation. Το αποτελέσμα αυτής της πράξης (για rgb εικόνες) ειναι ένας 3-3-3 πίνακας όπου η τελευταία διάσταση αντιστοιχεί σε κάθε από τα χρώματα. Για να λαβουμε τον μέσο όρο για κάθε σημείο

```
sum (sum (tempimage, 2), 1) / sumP
```

που επιστρέφει ενα διάνυσμα 1-1-3 δηλαδη την τιμή της τριπλέτας rgb μετά το interpolation. Με τον ίδιο τρόπο εκτελείται η πράξη και για grayscale εικόνες. Ακολουθούν οι περιπτώσεις των πιξελ της αρχικής εικόνας του περιγράμματος της αρχικής εικόνας, καθώς και της των σημείων που δεν ανήκουν στην εικόνα αλλά στο background αυτής και τερματίζεται η συνάρτηση επιστρέφοντας την τελική εικόνα.

Από την εκφώνηση ζητετείται να δειχτούν τα ακολουθα

- 1) Περιστροφή της εικόνας TestIm1 κατά 35 μοίρες

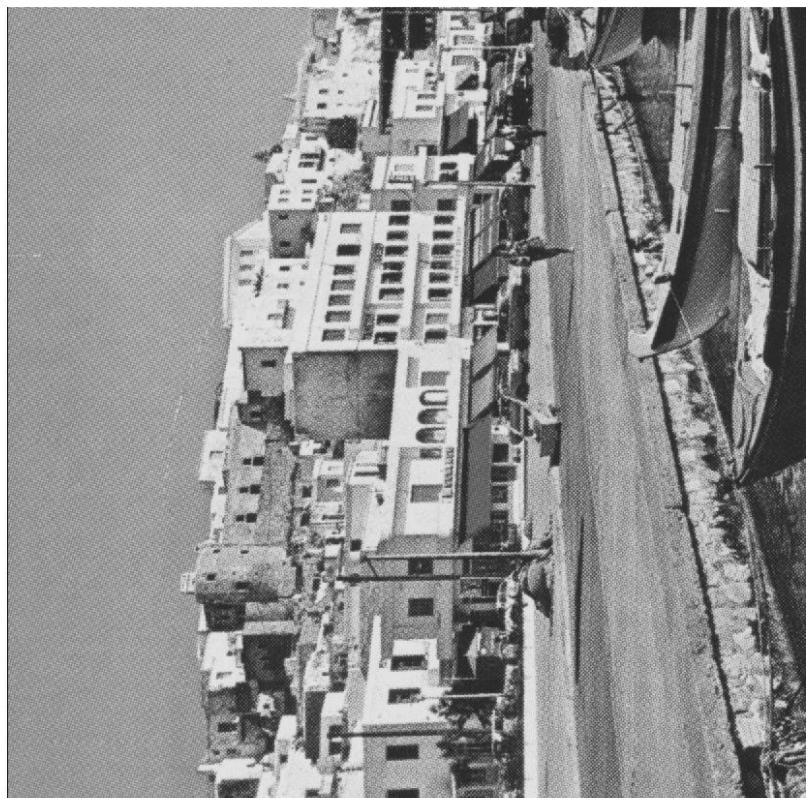


2) Περιστροφή της ίδας εικόνας κατά 222 μοίρες



Στην συνέχεια παρουσίαζονται ορισμένα αποτελέσματα που επαληθεύουν την σωστή λειτουργία της συνάρτησης `rotImg`, τα οποία δεν απαιτούνται να δειχτούν, ώστό στο ορίζονται στα πλαίσια της εκφώνησης, όπως η σωστή λειτουργία της συνάρτησης τοσο για έγχρωμες όσο και για ασπρόμαυρες εικόνες, καθώς και η λειτουργία για άλλες εικόνες περά από αυτές που δίνονται στα πλαίσια της εργασίας. Ετσι παρουσιάζονται στην

συνέχεια η περιστραμένη κατα 90 μοίρες ασπρόμαυρη εκδοχή της εικόνας 1 καθώς και η περιστραμένη εικόνα κατα 60 μοίρες μιας άλλης εικόνας πέραν αυτών που δίνονται.





2^o

Ζητούμενο Εργασίας

Εδώ ζητείται η υλοποιήση ενός rotation invariant local descriptor που επιστρέφει ένα διάνυσμα με d στοιχεία κάθε ενα που αντιστοιχεί και σε μια διαφορετική ακτίνα.Στην βασική έκδοση του περιγραφέα σε κάθε θέση επιστρέφεται ο μέσος όρος των N δειγμάτων (από τις αντίστοιχες γωνίες) για την συγκεκριμένη ακτίνα.

Περιγραφή της συνάρτησης myLocalDescriptor

Η εν λόγω συνάρτηση δημιουργεί αρχικά το μηδενικό διάνυσμα μήκους ίσο με τον αριθμό των διαφορετικών ακτινών,ενώ χρησιμοποιείται μια Boolean μεταβλητή με όνομα allpoints που αφορά το αν όλα τα σημεία για τις διαφορετικές ακτίνες ανήκουν πράγματι στο εσωτερικό της εικόνας.Υπολογίζονται οι συντεταγμένες του σημείου δειγματοληψίας

```
dx = rtemp*cos(theta$temp); dy = rtemp*sin(theta$temp);
nx = floor(px+dx); ny = floor(py+dy);
```

και ελέγχεται αν αυτές ανήκουν στο εσωτερικό της εικόνας,στο περίγραμμα ή δεν ανήκουν στην εικόνα.Στην πρώτη περίπτωση για κάθε σημείο λαμβάνεται ο μέσος όρος των 9 γειτονικών σημείων του σημείου nx,ny και αποθηκεύεται στο διάνυσμα xtemp,ενώ για σημεία στο σύνορο της εικόνας λαμβάνεται μόνο η τιμή του σημείου.Στην περίπτωση που διαπιστώθει οτι το σημείο δεν ανήκει στο εσωτερικό της εικόνας το allpoints γίνεται ίσο με το 0 υποδηλώνοντας οτι εντοπίστηκε σημείο που δεν ανήκει στην εικόνα και επόμενως θα

επιστραφεί (κατόποιν οδηγίας της εκφώνησης) το μηδενικό διάνυσμα.Σε περίπτωση που δεν συμβεί το τελευταίο (όλα τα σημεία είναι έγκυρα) η συνάρτηση επιστρέφει το διάνυσμα dtemp που σε κάθε θέση περιέχει τον αντίστοιχο μέσο όρο.

Περιγραφή της συνάρτησης myLocalDescriptorUpgrade

Παραμένωντας στην ίδια λογική εφόσον ζητείται ο νέος αυτός descriptor να παραμείνει rotation invariant και έχοντας ένα ήδη ενα διάνυσμα που αντιστοιχίζεται στην πληροφορία σε απόσταση κατα μία συγκεκριμένη ακτίνα κάθε φορά από το σημείο, για το οποίο κρατίεται μια μέση τιμή που αντιροσωπεύει την πληροφορία που περιέχεται σε αυτό, η ιδέα της αναβάθμισης του περιγραφέα είναι να κρατήθουν κάποιες επιπλέον τιμές/μετρικές που να εκφράζουν την πληροφορία που περιέχεται στο διάνυσμα για την κάθε ακτίνα(το οποίο περιέχει Ν στοιχεία, όσα και οι γωνίες δειγματοληψίας).Ένα τετοιο παράδειγμα μετρικής είναι το μέτρο αυτού του διανύσματος.Έτσι ο αναβαθμισμένος περιγραφέας επιστρέφει εν τέλει ενα διανύσμα διπλάσιου μήκους που στις πρώτες μισές θέσεις του περιέχει ακριβώς την ίδια πληροφορία με τον απλό περιγραφέα, ενώ στις υπολοιπές μισές το μέτρου του διανύσματος για το οποίο προηγουμένως κρατήθηκε η μέση τιμή του.

dtemp (1, i) =mean (xtemp) ; dtemp (1, i+dsizē) = norm (xtemp) ;

Με παρομόμοιο τρόπο θα μπορούσαν να κρατηθούν ακόμα περισσότερες μετρικές(πχ διάμεσος ή εύρος τιμών διανύσματος) για το διάνυσμα που αντιστοιχεί σε κάθε ακτίνα, εξασφαλίζοντας έτσι οτι ο περιγραφέας παραμένει rotation invariant.

Από την εκφώνηση ζητούνται για ορισμένες τιμές των παραμέτρων(rhom=5,rhoM=20,rhostep=1, N=8) της συνάρτησης οι τιμές που επιστρέφει ο descriptor για την αρχική και για τις περιστραμένες εικόνες.

Το σημείο [100,100]

Αρχική εικόνα:

150.888888888889	149.625000000000	150.319444444444	151.486111111111
151.111111111111	150.125000000000	149.361111111111	152.180555555556
154.069444444444	153.263888888889	149.236111111111	149.500000000000
154.791666666667	155.236111111111	154.972222222222	150.986111111111

Περιστράμενη κατα 35 αντιστοιχίζεται στο [728,139]

150.736111111111	152.694444444444	152.527777777778	151.125000000000
148.611111111111	151.222222222222	151.277777777778	151.041666666667
151.666666666667	151.333333333333	152.597222222222	150.097222222222
149.819444444444	150.638888888889	152.694444444444	153.666666666667

Περιστράμενη κατα 222 αντιστοιχίζεται στο [913,1599]

150	149.361111111111	149.750000000000	151.305555555556	151.777777777778
	150.472222222222	150.888888888889	151.763888888889	153.069444444444
	152.305555555556	149.333333333333	148.625000000000	152.638888888889
	154.027777777778	154.263888888889	153.347222222222	

Το σημείο [200,200]

Αρχική εικόνα:

158.125000000000	157.319444444444	157.805555555556	160.680555555556
160.972222222222	155.680555555556	155.152777777778	153.319444444444
158.013888888889	159.166666666667	159.944444444444	158.9166666666667
159.902777777778	159.402777777778	157.152777777778	153.083333333333

Περιστράμενη κατα 35 αντιστοιχίζεται στο [753,278]

157	153.847222222222	154.597222222222	158.708333333333	160.097222222222
	155.291666666667	155.361111111111	158.583333333333	160.319444444444
	158.486111111111	155.041666666667	156.486111111111	160.222222222222
	158.930555555556	154.625000000000	153.527777777778	

Περιστράμενη κατα 222 αντιστοιχίζεται στο [905,1458]

158.319444444444	156.944444444444	157.500000000000	159.361111111111
161.500000000000	158	155.430555555556	154.569444444444
156.402777777778	156.416666666667	156.666666666667	157.736111111111
158.888888888889	160.708333333333	157.694444444444	154.527777777778

Το σημείο [202,202]

Αρχική εικόνα:

158.166666666667	155.583333333333	155.916666666667	156.527777777778
157.458333333333	156.236111111111	156.930555555556	156.597222222222
158	157.888888888889	158.208333333333	158.722222222222
159.222222222222	158.944444444444	157.472222222222	157.194444444444

Περιστράμενη κατα 35 αντιστοιχίζεται στο [753,281]

156.472222222222	153.097222222222	153.125000000000	159.055555555556
162.583333333333	157.861111111111	157.250000000000	157.680555555556
158.861111111111	158.291666666667	154.319444444444	155.541666666667
160.013888888889	159.152777777778	157.680555555556	155.708333333333

Περιστράμενη κατα 222 αντιστοιχίζεται στο [905,1455]

158.680555555556	158.263888888889	157.236111111111	156.444444444444
156.152777777778	157.375000000000	156.763888888889	156.930555555556
156.902777777778	157.555555555556	157.569444444444	158.541666666667
158.013888888889	157.111111111111	156.888888888889	156.388888888889

Τα ίδια αποτελέσματα παρουσιάζονται για τον upgraded descriptor

Το σημείο [100,100]

Αρχική εικόνα:

150.888888888889	149.625000000000	150.319444444444	151.486111111111
151.111111111111	150.125000000000	149.361111111111	152.180555555556
154.069444444444	153.263888888889	149.236111111111	149.500000000000
154.791666666667	155.236111111111	154.972222222222	150.986111111111
427.356618074818	423.438671642040	425.416092610343	428.904187982743
427.555382305347	425.045487761800	422.901704716181	430.618576033003
436.208396792289	434.401461357613	422.478474869898	423.338757620542
438.154223369797	439.544868424174	438.687098477229	427.366050056320

Περιστράμενη κατα 35 αντιστοιχίζεται στο [728,139]

150.736111111111	152.694444444444	152.527777777778	151.125000000000
148.611111111111	151.222222222222	151.277777777778	151.041666666667
151.666666666667	151.333333333333	152.597222222222	150.097222222222
149.819444444444	150.638888888889	152.694444444444	153.666666666667
426.573181309310	431.960331969339	431.563308089194	427.822263199204
420.605559921688	427.940834724488	428.281118016406	427.554819241685

429.102220979317	428.177158443028	431.936052079958	424.975395075707
424.119581902423	426.315914855708	432.185545430446	434.752945311231

Περιστράμενη κατα 222 αντιστοιχίζεται στο [913,1599]

150	149.361111111111	149.750000000000	151.305555555556	151.777777777778
	150.472222222222	150.888888888889	151.763888888889	153.069444444444
	152.305555555556	149.333333333333	148.625000000000	152.638888888889
	154.027777777778	154.263888888889	153.347222222222	424.419632782648
	422.576722524742	423.698093073446	428.117296722623	429.356279580042
	426.046945770064	427.339862433510	429.556403402049	433.265336545461
	431.040830468372	422.673618356198	420.767479262524	431.937524060318
	435.817948174025	436.606625784598	434.050816277439	

Το σημείο [200,200]

Αρχική εικόνα:

158.125000000000	157.319444444444	157.805555555556	160.680555555556
160.972222222222	155.680555555556	155.152777777778	153.319444444444
158.013888888889	159.166666666667	159.944444444444	158.916666666667
159.902777777778	159.402777777778	157.152777777778	153.083333333333
447.540094072553	445.245375545265	446.620506183057	455.382013015202
455.831623667997	440.485716756703	439.090881787741	433.846946329585
447.295452941590	450.919609051503	453.713021824192	449.994183775856
452.457719189673	451.137232412861	444.843556909007	433.241671217131

Περιστράμενη κατα 35 αντιστοιχίζεται στο [753,278]

157	153.847222222222	154.597222222222	158.708333333333	160.097222222222
	155.291666666667	155.361111111111	158.583333333333	160.319444444444
	158.486111111111	155.041666666667	156.486111111111	160.222222222222
	158.930555555556	154.625000000000	153.527777777778	444.295947414433
	435.265024985133	437.377326716790	449.187125899746	453.031231038541
	439.447984253196	439.709865061155	448.861495313765	453.595417160641
	448.404372727878	438.699888981742	442.768130384235	453.384201939041
	449.850084767617	437.639247681365	434.497666532540	

Περιστράμενη κατα 222 αντιστοιχίζεται στο [905,1458]

158.319444444444	156.944444444444	157.500000000000	159.361111111111
161.500000000000	158	155.430555555556	154.569444444444
156.402777777778	156.416666666667	156.666666666667	157.736111111111
158.888888888889	160.708333333333	157.694444444444	154.527777777778
447.995053433891	443.982621170282	445.584177523461	450.952544655049
457.033753514827	446.945435397009	439.768752363734	437.621108457877
442.741808102618	442.917934042297	443.521486110848	446.494922758795
449.558136972871	454.748458484278	446.165058312794	437.302449225665

Το σημείο [202,202]

Αρχική εικόνα:

158.166666666667	155.583333333333	155.916666666667	156.527777777778
157.458333333333	156.236111111111	156.930555555556	156.597222222222
158	157.888888888889	158.208333333333	158.722222222222
159.222222222222	158.944444444444	157.472222222222	157.194444444444
447.987654150876	440.240983390677	441.391738330779	443.509266121693
446.040232365746	442.423056015198	444.333305548609	443.104772605952
447.167298214653	447.170556021793	448.295688905613	449.426493255022
450.746979475374	450.046252767012	445.764954950171	444.759527202102

Περιστράμενη κατα 35 αντιστοιχίζεται στο [753,281]

156.472222222222	153.097222222222	153.125000000000	159.055555555556
162.583333333333	157.861111111111	157.250000000000	157.680555555556
158.861111111111	158.291666666667	154.319444444444	155.541666666667
160.013888888889	159.152777777778	157.680555555556	155.708333333333
442.711482559605	433.097129356441	433.159808561559	450.125908311589
460.238048979433	446.611162941767	444.837714894536	446.135020806620
449.354269212232	447.800923030164	436.745525816794	440.261608535899
452.824155770629	450.324752502069	446.067356370933	440.632275791431

Περιστράμενη κατα 222 αντιστοιχίζεται στο [905,1455]

158.680555555556	158.263888888889	157.236111111111	156.444444444444
156.152777777778	157.375000000000	156.763888888889	156.930555555556
156.902777777778	157.555555555556	157.569444444444	158.541666666667
158.013888888889	157.111111111111	156.888888888889	156.388888888889
449.433291991834	447.873728346741	444.870393110922	442.689618994428
441.835020324538	445.446190512362	443.747940353419	444.024621161407
443.887108882539	445.720889246972	446.025064345818	448.612084622267
447.401068449085	444.775598851076	443.961126092681	442.590605915268

Όπως φαίνεται στα παραπάνω αποτελέσματα των περιγραφέων είναι σχετικά κοντά για τα σημεία στην αρχική και στις περιστραμμένες εικόνες. Οι όποιες διαφορές παρουσιάζονται οφείλονται στου εξής παράγονται:

- A) τιμές χρώματος στις περιστραμμένες εικόνες υπολογίζονται από bilinear interpolation
- B) η αντιστοιχήση των πίξελ μεταξύ των εικόνων δεν είναι 1-1, δηλαδή μπορεί ενα γεωμετρικός μετασχημετισμός της περιστροφής και της μεταφοράς να είναι 1-1, ωστόσο εδώ επειδή πρόκειται για κβαντισμένα μεγέθη(πίξελ) χάνεται αυτή η ιδιότητα
- Γ) στρογγυλοποίηση συντεταγμένων σημείων για τα οποία λαμβάνεται η πληροφορία για την γειτονιά του κάθε σημείο.

Ωστόσο όπως θα φανεί στη συνέχεια στο πρόβλημα της αντιστοιχησης των σημείων ενδιαφέροντος για την ένωση των δυο εικόνων, οι δυο αυτοί περιγραφείς περιέχουν ικανοποιήτικη πληροφορία (παρά τις όποιες διαφορα δείχνουν να έχουν για τα αντίστοιχα σημεία, δίνουν την εικόνα για το πόσο ταιριάζουν οι περιγραφές των σημείων, οι οποίες στα παραπάνω παραδείγματα είναι αρκετά κοντά) για την δημιουργία των ζευγών αντιστοιχησης.

3^ο Ζητούμενο Εργασίας

Στο συγκεκριμένο τμήμα ζητείται η υλοποιήση σε συναρτήσεις του Harris Corner Detector. Αρχικά υλοποιείται η συνάρτηση isCorner

Περιγραφή της συνάρτηση isCorner

Η συνάρτηση δέχεται ως είσοδο μια grayscale εικόνα, το σημείο που θα ελέξει αν είναι σε γωνία και τις παραμέτρους του k, Rthreshold. Αρχικά κανονικοποιείται η εικόνα εισόδου στο διάστημα [0,1] (ενώ βρισκόταν στην περιοχή 0..255, αν δεν ήταν ήδη κανονικοποιήμενη) και υπολογίζονται οι μερικές παράγωγοι της με χρήση της συνάρτησης upoloygismou διδιάστατης συνέλιξης του matlab conv2 με χρήση της κατάλληλης μάσκας. Στο σημείο αυτό αναφέρεται ότι στα πλαίσια του μαθήματος χρησιμοποιήθηκαν οι μάσκες [-1,1] και [-1;1], ενώ στην δημοσίευση που πρωτοπροτάθηκε ο harrisdetector προτείνονται οι μάσκες [-1,0,1] και [-1;0;1]. Η σύγκριση μεταξύ των δύο παρουσιάζεται στην συνέχεια. Εφόσον έχουν υπολογιστεί οι μερικές παράγωγοι υπολογίζονται τα τετράγωνα αυτών και το γινόμενο τους που απαιτούνται, ενώ στην συνέχεια ορίζεται το gaussian φίλτρο με το όποιο θα συνελίχτουν τα παραπάνω αποτελέσματα. Συγκεκριμένα οι τιμές του πίνακα M (όπως ορίζεται στην εκφώνηση) στην θέση (p1,p2) αντιστοιχούν στο αποτέλεσμα της συνέλιξης των στοιχείων Ix2, Iy2, Ixy με το γκαουσιανό φίλτρο κρατώντας το αποτέλεσμα της συνέλιξης για το σημείο (p1,p2). Για την υλοποίηση του φίλτρου χρησιμοποιείται μια μάσκα πεπερασμένου μήκους (ενώ θεωρητικά φίλτρο έχει άπειρη διάσταση) μήκους $2*(3*sigma + 1)$, καθώς είναι γνωστό ότι η γκαουσιανή λαμβάνει τιμές πολύ κοντά στο 0 σε απόσταση περίπου $isigma$ με $3*sigma$, οι οποίες από κεί και πέρα δεν επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα. Στην συνέχεια ελέγχεται αν η μάσκα χωράει (μισό μήκος μάσκας <px<rows – μισό μήκος μασκας ενώ για τα γυναίκα λόγω της αδυναμίας του παραπανώ υπολογισμού (αγνοούνται δηλασή για λόγους απλότητας σημεία αυτά κοντά στο περίγραμμα της εικόνας). Αν ωστόσο ικανοποιείται η παραπάνω συνθήκη με την χρήση 2 for υπολογίζεται το αποτέλεσμα της συνέλιξης για το σημείο (p1,p2) με φίλτρο και τα αντίστοιχα αποτελέσματα τίθενται στον πίνακα M. Τα στοιχεία του οποίου είναι

M11 = συνέλιξη Ix2 με φίλτρο στο σημείο p1,p2

M11 = συνέλιξη Ixy με φίλτρο στο σημείο p1,p2

M22 = συνέλιξη Iy2 με φίλτρο στο σημείο p1,p2

Τέλος υπόλογιζεται η αντίστοιχη μετρική R όπως ορίζεται από την εκφώνηση και προτάθηκε στο paper του Harris και επιστρέφεται αν η τιμή ειναι μεγαλύτερη από τον αντίστοιχο κατώφλι που έχει δωθεί σαν όρισμα στην συνάρτηση.

Περιγραφή της συνάρτησης myIsCorner

Η συγκεκριμένη συναρτήση δημιουργήθηκε σαν μία τροποποίηση της προηγούμενης για λόγους κάλυτερης υπολογιστικής πολύπλοκότητας. Συγκεκριμένα στόχος είναι να καλέσουμε την σύναρτηση isCorner για όλα τα σημεία της εικόνας για να μπορέσουμε να ανιχνεύσουμε τα σημεία ενδιαφέροντος για αυτήν. Ο υπολογισμός όμως των μερικών παραγώγων μέσα στην isCorner καθυστέρει σημαντικά την διαδικάσια αυτή, καθώς γίνεται πολλές φορές ο ίδιος υπολογισμός. Η μόνη διαφοροποίηση της myIsCorner είναι ότι δέχεται σαν όρισμα τις μερικές παραγώγους της εικόνας καθώς και το gaussian φίλτρο και έτσι ο υπολογισμός αυτός γίνεται μόνο μια φορά πρίν από την κλήση της συνάρτησης. Η διαδικασία κατα τα λοιπά είναι ακριβώς ίδια.

Περιγραφή της συνάρτησης myDetectHarrisFeatures

Στην εν λόγω συνάρτηση υπολογίζονται οι μερικές παραγώγοι της συνάρτησης που θα δωθούν σαν όρισμα στην συνάρτηση myIsCorner και μέσω μιας διπλής for που διατρέχει όλα τα πίξελ της εικόνας καλέιται η συνάρτηση myIsCorner για κάθε σημείο και κρατιέται η αντίστοιχη θέση του πίξελ στην εικόνα και επιστρέφεται ο πίνακας με τις συντεταγμένες των σημείων στα οποία επιστράφηκε αληθής τιμή από την myIsCorner.

Περιγραφή της συνάρτησης myDetectHarrisFeaturesUpgrade

Πέραν των απαιτήσεων της εκφώνησης δημιουργήθηκε μια συνάρτηση που επιστρέφει τα αποτελέσματα του Harris corner detector χωρίς την χρήση της υποσυνάρτησης isCorner. Αναφερθηκε προηγουμένως ότι κάθε στοιχείο του πίνακα M προέρχεται από την συνέλιξη των εκφράσεων των μερικών παραγώγων με το γκαουσιανό φίλτρο. Δηλαδή το M11 στοιχείο του πίνακα για όλες τις θέσεις δίνεται από την συνέλιξη του Ix2 για όλα τα σημεία με την γκαουσιανή μάσκα, ομοίως το M12 αφορά το Iχγ και το M22 το ly2. Έτσι στην συνάρτηση υπολογίζεται μεσώ κλήσεων της conv2 τα αντίστοιχα αποτελέσματα ενώ η μετρική R υπολογίζεται άμεσα για όλα τα σημεία μέσω του της έκφρασης (G.. αποτέσμα συνέλιηγς με φίλτρο).

$$R = ((G_{xx} \cdot * G_{yy}) - (G_{xy} \cdot ^2)) - k \cdot * (G_{xx} + G_{yy}) \cdot ^2;$$

Που ισοδυνάμει στον αντίστοιχο υπολογισμό της ορίζουσας και του ίχνους εκφρασμένο όμως μέσω πολλαπλασιασμών πινάκων σημείων προς σημείο, ενώ η κατωφλίωση γίνεται άμεσα για όλα τα σημεία μέσω της $R = R > R_{thes}$. Τέλος αναζητούνται μεσώ μιας διπλής φορ τα σημεία που επιστράφηκε αλήθης τιμή για την παράπανω συνθήκη, ενώ αυτή η συνάρτηση επιλέχτηκε να επιστρέψει (για λόγους άμεσης οπτικοποίησης που θα εξηγηθεί στην συνέχεια) και τον Boolean πίνακα R καθώς και τις συντεταγμένες των σημείων αυτών.

Για την οπτικοποιήση των αποτελεσμάτων για τον HarriscornerDetector όπως ζητείται από την εκφώνηση δημιουργήθηκε η συνάρτηση showHarris, η οποία δημιουργεί ενα κοκκινο

τεράγωνο διάστασης 5×5 με κεντρό το σημείο που ανιχνεύτηκε ως corner. Τα αποτελεσμάτα ακολουθούν στην συνέχεια.

Θα παρουσιαστούν αποτελέσματα τοσο από την έκδοση της myHarrisFeatures που προτείνεται από την εκφώνηση, όσο και της myHarrisFeaturesUpgrade για να επιβεβαιωθεί οτι επιτελούν την ίδια λειτουργία.

Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτέλεσματα για χρηση των μασκών μερικής παραγώγισης όπως προτείτονται στην δημοσίευση του Harris. Η παράμετρος κ επιλέχθηκε ιση με 0.04 και το threshold = 0.002.

myHarrisFeatures



myHarrisFeaturesUpgrade



Όπως φαίνεται στα παραπάνω αποτελέσματα οι δύο διαφορετικές συναρτήσεις επιστρέφουν τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα. Μοναδική ωστόσο διαφοροποίηση αποτελούν τα πιξέλ πολυ κοντά στο περιγράμμα που στην εκδοχή της συνάρτησης της εκφώνησης αγνοούται, ενώ στην myHarrisFeaturesUpgrade λαμβάνονται και αυτά υπόψιν λόγω της χρήσης της συνάρτησης conv2 για τον υπολογισμό των στοιχείων του πίνακα M, που στην πρώτη περίπτωση υπολογίστηκαν «χειροκίνητα» μέσω της χρήσης μιας διπλής for.

Στην συνέχεια ακολουθούν τα αποτέλεσματα των δύο εκδοχών της HarrisCornerDetector για χρήση των μασκών μερικής παραγώγισης [-1,1] και [-1;1]. Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι απαίτεται διαφορετική επιλόγη Threshold (εδώ 0.0005) για να λάβουμε σωστά αποτελέσματα, επομένως αυτή η επιλογή μπορεί να διαφοροποιήσει τον τρόπο λειτουργίας της συνάρτησης.

myHarrisFeatures



myHarrisFeaturesUpgrade



Και σε αυτή την περίπτωση η μόνη διαφορά μεταξύ των δυο εκδοχών είναι τα πίξελ πολύ κοντά στο περίγραμμα, ενώ τα αποτελέσματα για την χρήση της διαφορετικής αυτής μάσκας ειναι αρκετά παραπλήσια με τα προηγούμενα. Εφόσον έγινε αυτή η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο διαφορετικών «τελεστών» παραγώγισης επισημαίνεται ότι για το υπόλοιπο της εργασία (δηλάδη το κομμάτι του stitch) θα χρησιμοποιηθούν οι συνελικτικες μάσκες που προτάθηκαν από τον Harris, ενώ θα χρησιμοποιηθεί η upgraded εκδοχή της HarrisCorneDetector, λόγω της ελαφρώς καλύτερης χρονικής επίδοσης της, μιας και όπως δείχτηκε επιτελούν την ίδια λειτουργία.

Ένωση φωτογραφιών (Image stitching)

Για τον σκοπό αυτό η βασική ιδέα είναι αρχικά να εντοπιστούν τα σημεία ενδιαφερόντος στις δύο διαφορετικές σκηνές και να εξαχθούν για αυτά οι τοπικοί περιγραφείς τους. Έπειτα μέσω των τοπικών περιγραφέων στοχός είναι η αντιστοίχηση των σήμειων ενδιαφέροντος μεταξύ των δύο εικόνων. Έχοντας πλέον αντιστοιχήσει τα σημεία ενδιαφέροντος μπορούμε να εκτιμήσουμε τον μετασχηματισμό που συνδέει τις δύο εικόνες. Βασιζόμενοι στον τελευταίο μπορούμε να προχωρήσουμε στην ένωση των δύο εικόνων. Για την προσέγγιση του συγκεκριμένου προβλήματος χρειάστηκε να δημιουργηθεί ένας αριθμός από συναρτήσεων που επιτελούν την λειτουργία που περιγράφηκε προηγουμένως η οποίες θα εξηθούν στην συνέχεια.

Περιγραφή της συνάρτησης myStitch

Αρχικά καλούνται για τις δύο εικόνες η harrisfeatures συνάρτηση, ωστόσο σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκε μεγαλύτερο Rthres προκειμένου να επιστραφεί ένας μικρότερος αριθμός από σημεία ενδιαφέροντος, εφόσον δεν απαίτεται τοσο μεγάλος αριθμός σημειών για την αντιστοίχηση των εικόνων όσα προέκυψαν προηγουμένως κανόντας ετσί ευκολότερη και γρηγορότερη την αντιστοίχιση των σημείων. Τα σημεία ενδιαφέροντος που προέκυψαν για τις δύο εικόνες απεικονίζονται άμεσα με άσπρο χρώμα στις δύο εικόνες που ακολουθούν (οι οποίες προέκυψαν από κατάλληλη μετατροπή του Boolean πίνακα που επιστρέφει η harriFeaturesUpgrade, corners1= uint8 (corners1*255) ;). Αυτός ήταν άλλωστε και ο λόγος που επιλέχθηκε να επιστρέφει τον συγκεκριμένο πίνακα η τροποποιημένη αυτή εκδοχή της συνάρτησης. Εναλλακτικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και η showHarris.



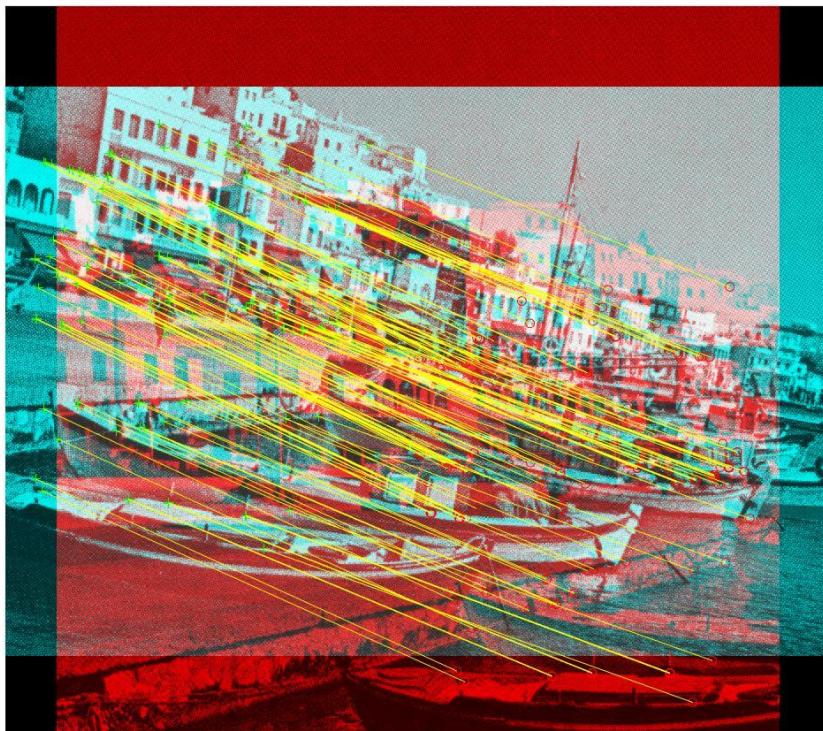
Στην συνέχεια καλείται η συνάρτηση που επιστρέφει του τοπικούς περιγραφείς για τα σημεία ενδιαφέροντος(είτε η βασίκη είτε η upgraded εκδοχή,τα αποτελέσματα των οποίων θα συγκριθούν στην συνέχεια).Οι παραμέτροι για τις συναρτήσεις αυτές επιλέχτηκαν τέτοιες ώστε να κρατηθεί αρκετή πληροφορία για κάθε σημείο.Έπειτα για την αντιστοιχηση των σημείων καλείται η συνάρτηση pairs που δημιουργήθηκε για τον σκοπό αυτό η οποία επιστρέφει εναν πίνακα 2 στηλών που η πρώτη περιέχει τα indexes της πρώτης εικόνας(στον πίνακα των σημείων ενδιαφέροντος της καθε εικόνας),ενώ η δεύτερη είναι τα indexes για την δεύτερη εικόνα.Δηλαδή κάθε γραμμή του είναι ενα ζεύγος αντιστοιχισμένων indexes στους πίνακες των σημείων των δύο εικόνων.

Περιγραφή της συνάρτησης pairs

Λαμβάνει ως είσοδο τους πίνακες που περιέχουν τους περιγραφείς των σημείων των δυο εικόνων και προσπαθεί με κριτήριο της ελάχιστης νόρμας της διαφοράς των διανυσμάτων των περιγραφέων να τα αντιστοιχήσει μεταξύ τους.Το συγκεκριμένο κριτήριο επιλέχτηκε ως μία απλούστερη (και γρηγορότερης εκτέλεσης) εκδοχή του κριτηρίου ελαχίστων τετραγώνων.Μέσω μίας διπλής For ελέγχονται όλοι συνδυασμοί των σημείων για να εντοπιστεί ποιός συνδυασμός ικανοποιεί καλύτερα το κρίτηριο. Με τον έλεγχο ~any (pd1 (i, :)) εξασφαλίζεται ότι δεν λαμβάνονται υπόψιν σημεία με μηδενικά διανύσματα τοπικών περιγραφέων,καθώς στην κατασκευή των περιγραφέων χρησιμοποιήθηκε η σύμβαση ότι εφόσον ενα πίξελ στην γειτονιά (όπως αυτή ορίζεται από τα ορίσματα της συνάρτησης) βρίσκεται εκτός της εικόνας θα επιστρέφεται το μηδενικό διανύσμα.Αν δεν αγνοούνταν τα μηδενικά αυτά διανύσματα θα οδηγούσαν σε λανθασμένες αντιστοιχήσεις σημείων(καθώς οι περιγραφές τους θα ήταν πανομοιότυπες) αλλοιώνοντας ετσι (σε κάποιες περιπτώσεις σημαντικά) τα αποτελέσματα της εκτιμήσης του μετασχηματισμού μεταξύ των δύο εικόνων.Επειδή χρειαζόμαστε να κρατήσουμε να κρατήσουμε μονο σημεία που ταιριάζουν αρκετά οι περιγραφείς τους μεταξύ τους τίθεται ενα ανώτερο όριο thres για το κριτήριο αντιστοιχησης.Αν δεν γινόταν αυτό θα αντιστοίχιζονταν μεταξύ τους σημεία επειδή τα διανύσματα των περιγραφέων τους ταιριάζαν περισσότερο μεταξύ τους σε σύγκριση χώρις να εξασφαλίζεται η σχετική ομοιότητα μεταξύ τους. Η σημασία της χρήσης του threshold για την αντιστοιχηση των σημείων θα σχολιασθεί και στην συνέχεια με την παρουσίαση δυο διαφορετικών εκδοχών.Κάθε φορά η συνάρτηση που ικανοποιούνται οι παραπάνω συνθήκες προστίθεται μια επιπλέον γραμμή στον πίνακα των αντιστοιχήσεων.Τελός κρατούνται (μέσω της συνάρτησης unique) τα μονάδικά ζεύγη αντιστοιχισης.

Για την οπτικοποίηση της αντιστοιχησης των σημείων μεταξύ τους θα χρησιμοποιήθει η υπάρχουσα συνάρτηση του cv toolbox, η matchedFeatures.

Ακολουθούν δύο παραδείγματα που δείχνουν την σημασία ύπαρξης του αντίστοιχου threshold κατά τα την αντιστοίχηση των σημείων όπως περιγράφηκε προηγουμένως.
Με ύπαρξη threshold.



Χωρίς κατώφλι



Όπως φαίνεται στην δεύτερη περίπτωση αντιστοιχίζονται όλα τα σημεία με αύτο που μοιάζει περισσότερο ο περιγραφέας τους, χωρίς να εξασφαλίζεται ότι ειναι πραγματικά παρόμοιοι, άλλα περισσότερο ομοίοι μεταξύ των άλλων. Ένας τέτοιος αριθμός από λανθασμένες αντιστοιχίσεις μπορεί να επιδράσει σημαντικά τα αποτελέσματα της εκτίμησης της σχέσης που συνδέει τις δύο εικόνες (αν και όπως θα δείχθει αργότερα ο αλγόριθμος ransac που επιλέχτηκε παρουσίαζει αρκετά καλή συμπεριφορά σε τέτοιες λανθασμένες αντιστοιχίσεις σε σύγκριση με αλλούς όπως για παράδειγμα η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων).

Έχοντας βρεί τα ζεύγη των αντιστοιχισμένων σημείων σε μορφή index λαμβάνεται η θέση τους στην εικόνα μέσω της εντολής
`mypoints1matched = points1(mypairs (:,1), :);`

Έχοντας πλέον τις συντεταγμένες των αντιστοιχισμένων σημείων μένει να εκτιμήσουμε την σχέση που συνδέει αυτά τα δύο μεταξύ τους.

Είναι γνωστό ότι περιγράφονται από μία περιστοφή και μια μετατοπίση κατά τους δυο άξονες.

Επομένως περιγράφεται από την παρακάτω σχέση, δηλαδή εναν πίνακα στροφής και μια μετατόπιση.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} tx \\ ty \end{bmatrix}$$

Και συγκεκριμένα $a = \cos(\theta)$ και $b = \sin(\theta)$. Επομένως βασιζόμενοι σε δύο ζεύγη αντιστοιχισμένων σημείων μπορούν να υπολογιστεί ο μετασχηματισμός περιστρόφης και μετατόπισης που τα συνδέει μεταξύ τους. Προκύπτει δηλαδή ένα σύστημα 4 εξισώσεων 4 αγνώστων από το οποίο μπορούν να υπολογιστούν τα a, b, tx, ty .

Περιγραφή της συνάρτησης

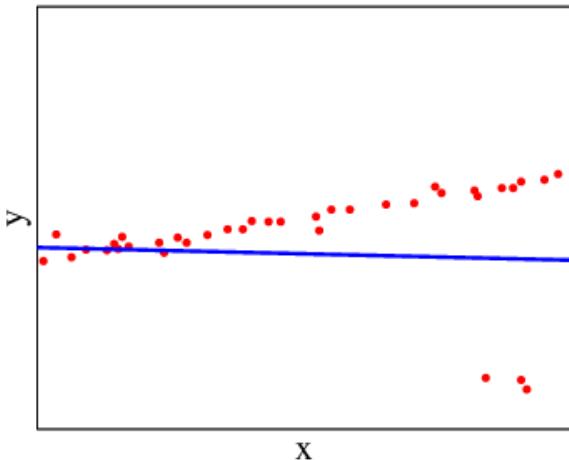
```
estimationOfTransformationWithRansac (points1, points2)
```

Βασίζεται στην μέθοδο εκτιμήσης Ransac (η οποία μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλες περιπτώσεις) η οποία περιγράφεται συνοπτικά:

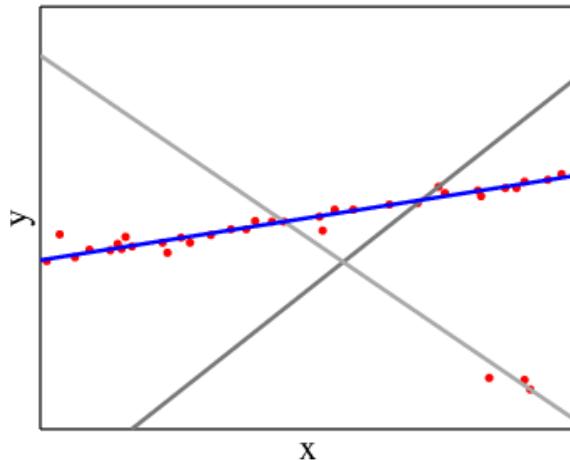
- 1) Επιλέγεται ενα ικανό πλήθος τυχαίων σημείων (εδώ 2) και βασει αυτών υπολογίζονται τα στοχεία του μετασχηματισμού
- 2) Με βάση τον παραπάνω μετασχηματισμό ελέγχεται πόσα από τα υπόλουτα σημεία προσεγγίζονται ικανοποιητικά από τον παραπάνω μετασχηματισμό που υπολογιστήκε λαμβάνοντας υποψιν τα 2 αυτά σημεία
- 3) Για ενα αριθμό επαναλήψεων,όπου σε κάθε επανάληψη ακολουθείται η διαδικασία των βημάτων 1 και 2,επίλεγεται ο μετασχηματισμός εκείνος που προσεγγίζει ικανοποιητικά το μεγαλύτερο δυνατό πλήθος σημείων(σύμφωνα με ενα κριτήριο μεγίστης αποδεκτής απόστασης μεταξύ αποτελέσματος εκτίμησης και πραγματικής τιμής).

Για την συγκεκριμένη περιπτώση εφόσον για ο μετασχηματισμός περιέχει συνολικά 4 αγνώστους απαιτούνται 2 συνολικά αντιστοιχησμένα ζεύγη σημείων(4 γνωστοί),για να προκύψει ενα 4×4 σύστημα εξισώσεων από το οποίο προκύπτουν τα a, b, tx, ty . Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκε η συνάρτηση calculateTransformation η οποία λαμβάνει ως είσοδο τα 2 σημεία και τα 2 στα οποια αντιστοιχίζονται και λύνει το 4×4 σύστημα που προκύπτει για τον υπολογισμό των παραμέτρων.Η συγκεκριμένη καλείται σε κάθε επανάληψη της ransac με τυχαίο και διαφορετικό συνδυασμό σημείων καθε φορα και υπολογίζεται ο μετασχηματισμός.Στο τέλος επιστρέφονται από την estimationofTransformationwithRansac ο πίνακας στροφής R και μεταφόρας T που προσεγγίζουν καλύτερα την σύνδεση μεταξύ των σημείων (με το κριτήριο που αναφέρθηκε προηγουμένως). Η συγκεκριμένη μεθοδος παρουσιάζει το σημαντικό πλεονέκτημα ότι δεν λαμβάνει υποψίν τα στοιχεία που εχουν αντιστοιχηθεί λανθασμένα,τα οποία θα αλλάζαν σημαντικά για παραδεισμα τα αποτελέσματα της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων .Το τελεύταιο συνοπτικά παρουσιάζεται στο παρακάτω παράδειγμα προκειμένου να επιβεβαιώσει την επιλογή της Ransac για εκτίμηση της σχέση μετάξυ των δύο εικόνων.

Least square method



Ransac method



Έχοντας πλέον εκτιμήσει τους R, T εξάγεται η εκτίμηση της γωνίας περιστροφή με χρήση της atan2 (αντίστροφη εφαπτομένη 2 ορισμάτων), με ορισματα το $\sin(\theta)$ και το $\cos(\theta)$. Σημειώνεται οτι στα πλαίσια της συνάρτησης `myStitch` εκτιμάται ο μετασχηματισμός που απεικονίζει την εικόνα 2 στην σώστη θέση της εικόνας 1, ενώ ο μετασχηματισμός αυτός μπορεί να αντιστραφεί.

Για την ένωση της εικόνας στο σημείο αυτό δεν θα χρησιμοποιήθει η `rotImg` που δημιουργήθηκε στο πρώτο ερώτημα, λόγω της εισγώγης του μαύρου background στην περιστραμένη εικόνα (αν και όπως αναφέρεται στην συνέχεια είναι δυνατή η χρήση με μια διαφοροποίηση της μεθόδου). Θα πρέπει ωστόσο να υπολογιστεί η διάσταση της νέας εικόνας η οποία θα πρέπει να ειναι τέτοια ώστε να χωρέσει και τις δύο εικόνες, δηλαδή γραμμές = μέγιστο(γραμμών πρωτής εικόνας, γραμμών δεύτερης εικόνας μετά την την εφαρμογή του μετασχηματισμού για την έκφραση στις συντεταγμένες της πρωτης) στήλες = μέγιστο(στήλες πρωτής εικόνας, στήλες δεύτερη εικόνας μετά την την εφαρμογή του μετασχηματισμού για την έκφραση στις συντεταγμένες της πρωτης).

Έτσι για τον υπολογισμό των στηλών και των γραμμών της δεύτερης εικόνας εκφασμένη στην πρώτη δημιουργήθηκε η συναρτηση `newdim` η οποία λαμβανει σαν είσοδο την εικόνα2 και επιστρέφει τις διαστάσεις αυτής για να ταιριάξει με την πρώτη εικόνα. Στην συνάρτηση αυτή υπολογίζονται οι νέες θέσεις των κορύφων της εικόνας μετα την εφαρμογή του μετασχηματισμού και με παρόμοια λογική όπως εξήγηθηκε στο πρώτο τμήμα της εργασίας επιστρέφονται οι απαραίτητες διαστάσεις. Πλέον γνωρίζουμε την διάσταση της ενωμένης εικόνας, ως το μεγίστο των διαστάσεων της πρώτης και της δεύτερης εκφρασμένης στην πρώτη

```
rowsnew = max(rowsnew1, rowsnew2);
colsnew = max(colsnew1, colsnew2);
```

και δημιουργείται η νέα εικόνα.Μέσω μια διπλής for διατρέχονται όλα τα πίξελ της νέας εικόνας και αρχικά υπλογίζεται στην μεταβλητή startingpoint οι συντεγμένες του πίξελ με την εφαρμογή του αντίστροφου μετασχηματισμού μεταξύ των δύο εικόνων,δηλαδή της θέσης που θα είχε το σημείο στην εικόνα 2.Ελέγχεται αρχικά αν οι συντέταγμενες του startingpoint ανήκουν σε έγκυρα σημεία της εικόνας 2

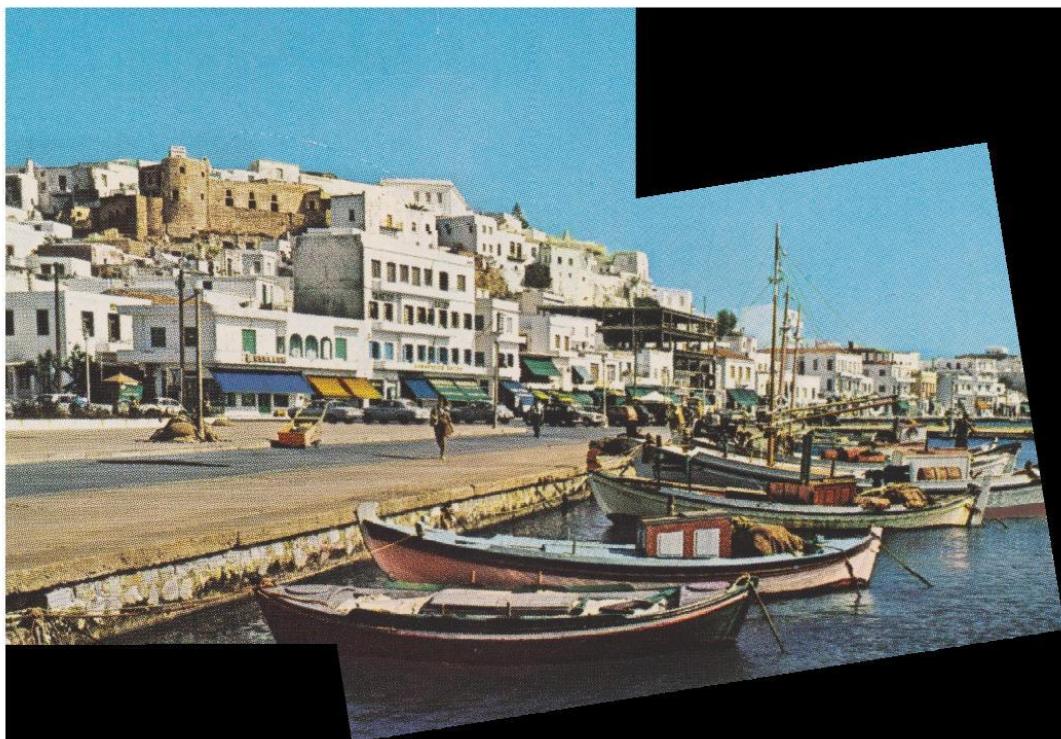
```
startingpoint(1) >= 1 && startingpoint(2) >= 1 &&  
startingpoint(1) <=rows2 && startingpoint(2) <=cols2
```

και αν ισχύει αυτό η τιμή του χρώματος αποδίδεται μεσω bilinear interpolation(εκτος αποτο περίγραμμα της εικόνας2) στην εικόνα 2 για το σημείο starting point.Αν δεν ισχύει αυτή η συνθήκη σημαίνει ότι το πίξελ δεν άνηκε στην αρχική εικόνα 2,επομένω στην συνέχεια ελέγχεται αν άνηκε στην εικόνα1, αν ναι λαμβάνει την τιμή του αντίστοιχου πίξελ της και στην περίπτωση που δεν ισχύει καμια απο τις δύο παραπάνω συνθήκες σημαίνει ότι το πίξελ αντιστοιχεί στην περιοχή του background της ενωμένης εικόνας,οπότε και λαμβάνει την τιμή μαύρο.(υποσημείωση: στην συγκεκριμένη περίπτωση τα όρια για το startingpoint ξεκινούν απο index 1 και αυτό γιατί ο μετασχήματισμός R,T που υπολογίστηκε μέσω της εκτιμήτριας αφορά τα σημεία στην εικόνα(πίνακα με indexing 1)και όχι τοποθέτημενα στο καρτεσιανό επίπεδο,όπως συνέβαινε στο πρώτο ερώτημα για την περιστροφή της εικόνας).

Σαν εναλλακτική λύση αναφέρεται ότι η ενωμένη εικόνα θα ήταν δυνατόν να διαμορφωθεί χρησιμοποιώντας την συνάρτηση του πρώτου ερώτηματος,με την διαφοροποίηση ότι πρώτα θα έλεγχονταν αν το συγκεκριμένο πίξελ άνηκε στην εικόνα 1 και αν δεν άνηκε σε αύτη έπειτα θα ελέγχοταν αν άνηκε στο αποτέλεσμα της περιστροφής της εικόνας 2,τέλος θα ακολουθούσε ενα else για τα σημεία του background.Στον κώδικα που παρατίθεται ωστόσο παρουσιάζεται ο πρώτος που περγράφηκε χωρίς χρήση της συνάρτησης,καθώς εξαρχής υλοποιήθηκε με αυτόν τον τρόπο και η ιδέα για την συγκεκριμένη λύση προέκυψε στην συνέχεια.Η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο λύσεων είναι ότι στην κοινή περιοχή των δυο εικόνων στην πρωτή περίπτωση εμφανίζονται τα πίξελ της περιστραμένης εικόνας ενώ στην δεύτερη της αρχική.

Παρατίθενται στην συνέχεια τα αποτελέσματα για την ενωμένη εικόνα καθώς και μερικές εστιασμένες περιοχές σε αύτη (στο σύνορο μεταξύ των δύο εικόνων) που επιβεβαιώνουν την σωστή λειτουργία της συνάρτησης myStitch.

Αρχικά παρούσιαζονται αποτελέσματα για την συνένωση εικόνων με χρήση του απλού περιγραφέα.

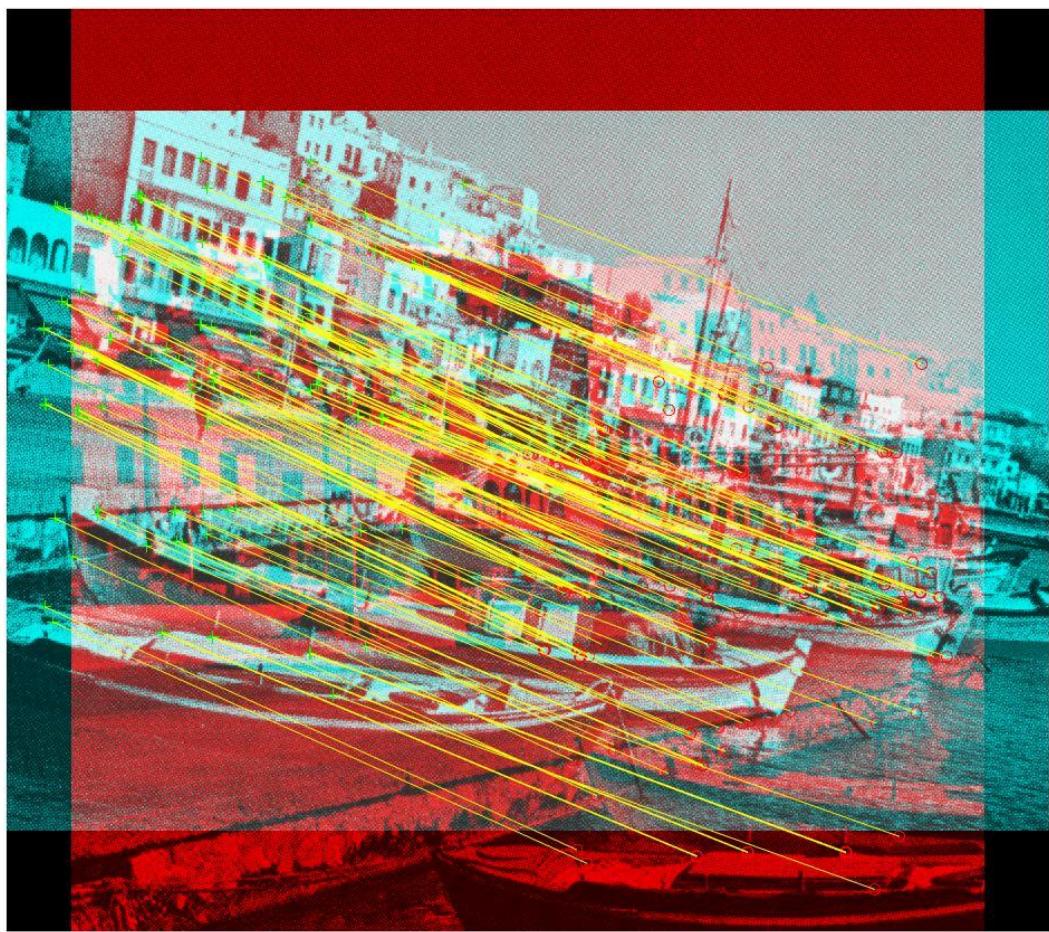


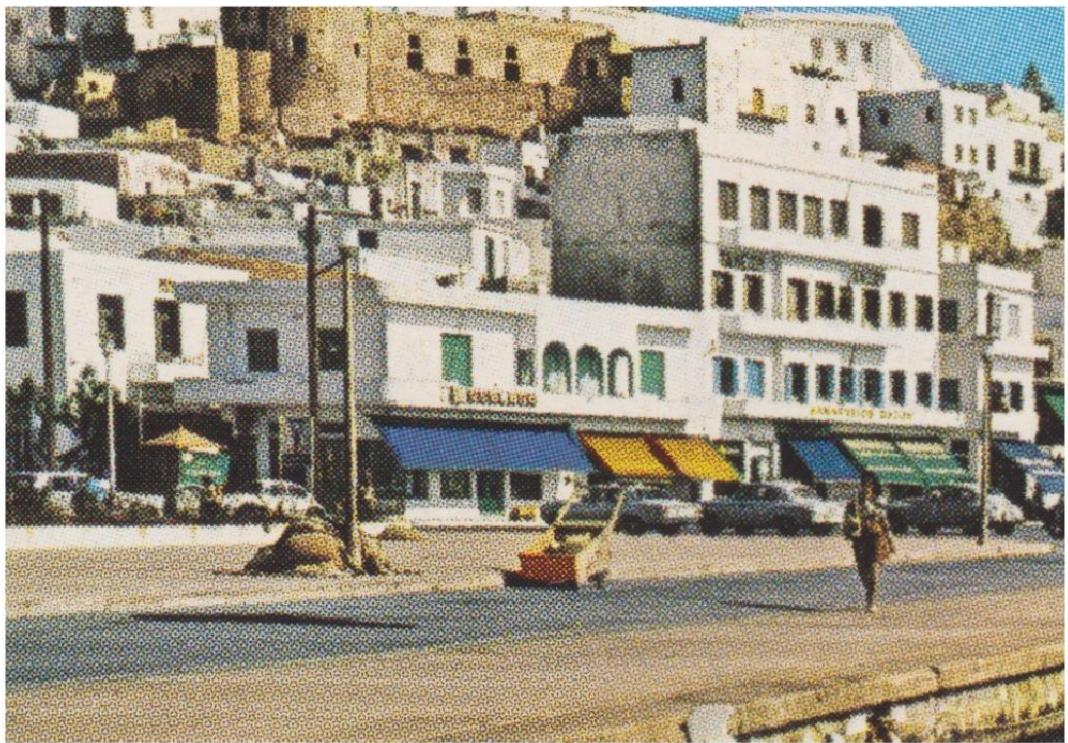
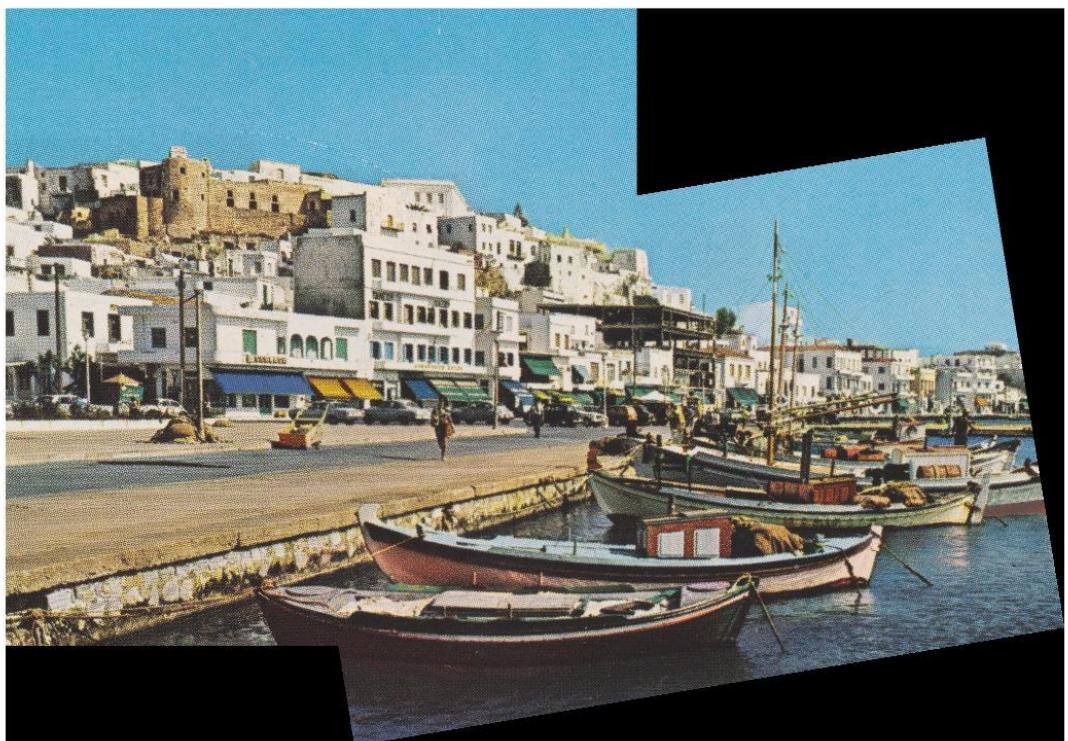


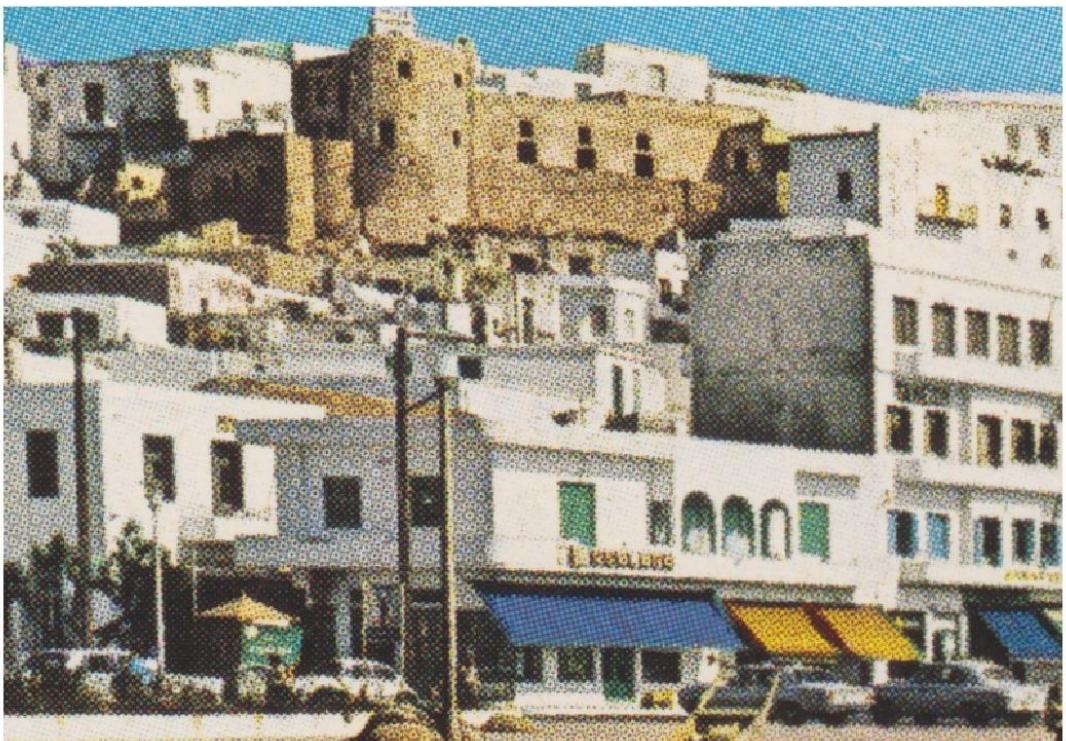


Επίσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για χρήση του upgraded περιγραφέα, από τα οποία προκύπτει οτι και οι δύο περιπτώσεις λειτουργούν ικανοποιητικά καλά.

Αντιστοίχηση σημείων







Τελος για να παρουσιαστεί η ικανότητας της εκτίμησης μεσω Ransac να μην επηρεάζεται σημαντικά από λανθασμένες αντιστοιχήσεις σημείων.Παρούσιαζονται τα αποτελέσματα της ένωση εικόνων βάζοντας(επιτρέποντας την ύπαρξη) σκόπιμα και ένα μεγάλο αριθμό λαναθασμένων αντιστοιχήσεων όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



Παρόλη την χαοτική εικόνα για τις αντιστοιχήσεις η ransac εκμάει και σε αυτή την περίπτωση σωστά την σχέση μεταξύ των σημείων των δύο εικόνων,όπως φαίνεται στα παρακάτω αποτελέσματα.Για αυτο και επιλέχθηκε και η χρήση της έναντι για παράδειγμα της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων που δεν θα παρουσίαζε καλή συμπεριφορά σε μία τέτοια περίπτωση.

